

УДК 531.788.7

## Электрические манометры и вакуумметры

Виноградов И.А.

Научный руководитель – ст. препод. ЖУКОВСКАЯ Т.Е.

Манометр — прибор, измеряющий давление жидкости или газа.

Вакуумметр — вакуумный манометр, прибор для измерения давления разрежённых газов.

Действие электрических манометров и вакуумметров основано на свойстве некоторых материалов изменять свои электрические параметры под действием давления [1].

## Пьезоэлектрические манометры

Принцип действия пьезоэлектрических манометров основан на пьезоэлектрическом эффекте, сущность которого состоит в возникновении электрических зарядов на поверхности сжатой кварцевой пластины, которая вырезается перпендикулярно электрической оси кристаллов кварца. Схема пьезоэлектрического манометра представлена на рисунке 1.

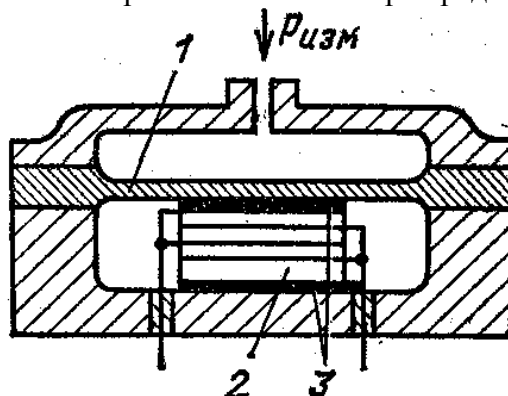


Рисунок 1 – Схема пьезоэлектрического манометра.

Измеряемое давление с помощью мембраны 1 преобразуется в усилие, сжимающее кварцевые пластины 2. Электрический заряд, возникающий на металлизированных плоскостях 3 под действием усилия  $F$  со стороны мембраны 1, определяется выражением:

$$Q = kF = kSp \quad (1)$$

где  $p$  – давление, действующее на металлическую мембрану 1 с эффективной площадью  $S$ ;  
 $k$  – пьезоэлектрическая постоянная, Кл/Н.

Напряжение на входе усилителя, подключённого к выходу пьезопреобразователя, определяется общей ёмкостью измерительной цепи  $C$ :

$$U = Q/C \quad (2)$$

Кварц, в отличие от других сегнетоэлектриков, обладающих пьезоэффектом, является механически прочным и имеет высокую жёсткость.

Пьезоэлектрическая постоянная, составляющая около  $2 \cdot 10^{-12}$  Кл/Н, отличается стабильностью и слабой зависимостью от температуры, что позволяет использовать пьезопреобразователи для измерения давления высокотемпературных сред. Из-за утечки заряда пьезоэлектрические преобразователи не используются для измерения статических давлений. С целью повышения чувствительности несколько кварцевых пластин включаются параллельно. Верхний предел измерения давления у этих приборов достигает 100 МПа ( $1000 \text{ кгс/см}^2$ ).

### Тензометрические манометры

Тензометрические манометры имеют малые габаритные размеры, простое устройство, высокую точность и надежность в работе. Верхний предел показаний 0,1...40 Мпа. Применяются в сложных производственных условиях.

В качестве чувствительного элемента в тензометрических манометрах применяются тензорезисторы, принцип действия которых основан на изменении сопротивления под действием деформации.

Конструкция тензометрического манометра приведена на рисунке 2. Манометр имеет цилиндрический корпус 4, образующий в верхней части упругую мембрану, а в нижней – штуцер для подвода измеряемого давления  $P$ . К мембране припаяна круглая сапфировая пластина 1, на поверхность которой нанесены тонкопленочные полупроводниковые тензорезисторы  $R_1...R_4$  из монокристаллического кремния.

Тензорезисторы с помощью припаянных к ним выводных проводов 5, соединены со сборными пластинками 2, закрепленными на кольце из диэлектрика 3.

Давление в манометре измеряется схемой неуравновешенного моста, плечами которого являются тензорезисторы  $R_1...R_4$ .

В результате деформации мембраны с сапфировой пластинкой 1 и тензорезисторами возникает разбаланс моста в виде напряжения, которое с помощью усилителя преобразуется в выходной сигнал, пропорциональный измеряемому давлению.

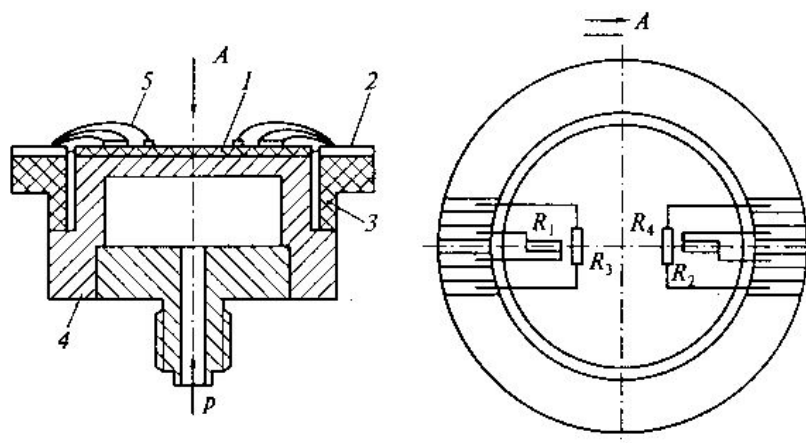


Рисунок 2 – Конструкция тензометрического манометра

### Емкостные вакуумметры

Для измерения высокого вакуума довольно часто используют емкостные вакуумметры, рисунок 3. Данные устройства отличаются тем, что могут измерять газ любого типа, вне зависимости от его свойств. Емкостной датчик измеряет давление в системе за счет того, что в нем имеется эластичная мембрана, которая деформируется за счет того, что в разных ее концах создается определенное давление. Это относительное давление и является средством, по которому можно определить давление. Погрешность измерения минимальная, но может возникать за счет того, что в устройстве может иметь место остаточное давление.

В качестве электрода конденсатора в емкостном вакуумметре используется мембрана. За счет того, что эта мембрана прогибается под давлением, это позволяет определять его характеристику. В большинстве случаев мембрана изготавливается из нержавеющей стали. Данный материал имеет небольшой коэффициент теплового расширения, благодаря чему и происходит измерение давления.

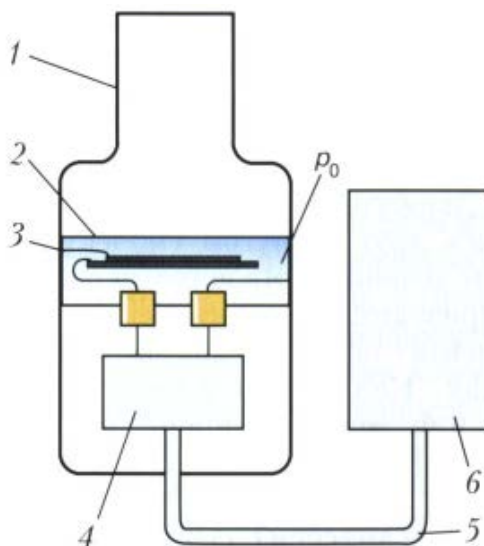


Рисунок 3 – Мембранно-емкостный вакуумметр: 1– корпус; 2 – мембрана; 3 – пластина конденсатора; 4 – вторичный преобразователь; 5– соединительный кабель; 6 – блок питания и отсчетное устройство;  $p_0$  – опорное давление

Существуют устройства с керамическими мембранами, которые имеют меньшую чувствительность к температурным измерениям, поэтому показывают более стабильные результаты. Керамический материал имеет большую коррозионную устойчивость, поэтому спектр их применения достаточно широк. Использование нечувствительных мембран из керамики позволяет рассчитывать на точные измерения.

#### Электронный ионизационный вакуумметр

В электронных ионизационных вакуумметрах (рисунок 4) электроны, испускаемые накалившимся катодом, на пути к аноду ускоряются и ионизируют молекулы газа; образовавшиеся ионы создают в цепи коллектора ток, пропорциональный давлению.

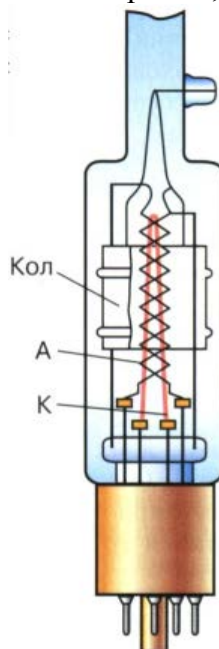


Рисунок 4 – Электронный ионизационный вакуумметр:  
А – анод; К – катод; Кол – коллектор ионов

С помощью ионизационного вакуумметра можно измерять вакуум в широких пределах. При измерении давлений порядка 100 Па для уменьшения влияния рекомбинации ионов используют вакуумметры с короткими траекториями электронов. Работа при низких

давлениях газа (менее  $10^{-7}$  Па) требует, наоборот, удлинения путей электронов в рабочем пространстве (например, за счёт включения магнитного поля). В этом случае необходимо также уменьшать поверхность коллектора ионов, чтобы снизить паразитные токи, обусловленные рентгеновским излучением анода. Чувствительность ионизационного вакуумметра зависит от величины электронного тока; ионные токи в таких вакуумметрах малы, поэтому в их схему обычно включают блок стабилизации эмиссии электронов и усилитель ионного тока. Ионизационные вакуумметры служат главным образом для измерения высокого и сверхвысокого вакуума [2].

#### Магнитный электроразрядный вакуумметр

В магнитных электроразрядных вакуумметрах давление определяют по току электрического разряда, возникающего в сильно разреженных газах при совместном действии электрических и магнитных полей. Преобразователь давления такого вакуумметра обычно содержит две плоскопараллельные катодные пластины и расположенный между ними кольцевой анод; электроды помещены в магнитное поле, создаваемое постоянным магнитом (рисунок 5). Современные вакуумметры этого класса могут измерять сверхвысокий вакуум (до  $10^{-11}$  Па).

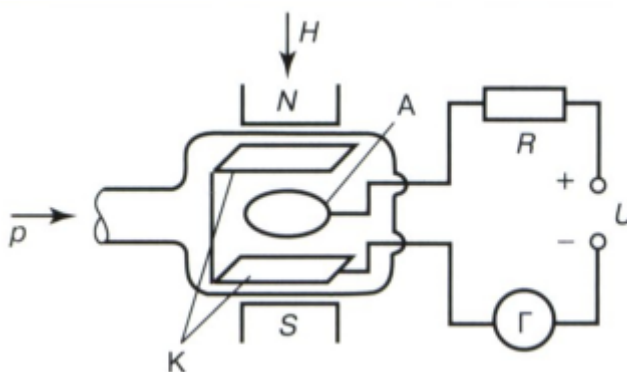


Рисунок 5 – Схема магнитного электроразрядного вакуумметра: А – анод; К – катод; Г – гальванометр; Н – напряженность магнитного поля; U – напряжение между электродами; R – резистор; p – давление; N и S – северный и южный полюсы магнита [3]

#### Литература

1. Советский энциклопедический словарь / Гл. ред. А.М. Прохоров. — 4-е изд. — М.: Советская энциклопедия, 1988. — 1600 с.
2. Манометры // Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона: в 86 т. (82 т. и 4 доп.). — СПб., 1890—1907